

О ПРИРОДЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ АНОМАЛИИ В ГАББРО ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА

А.А. Ефимов, Т.А. Потапова

Принято считать, что европейская аномалия в габбро обусловлена накоплением (кумуляцией) избыточного плагиоклаза или удалением выделяющегося плагиоклаза при фракционировании магматической жидкости в магматической камере. Плагиоклаз экстрагирует европий из остаточной жидкости, в связи с чем в первом случае содержание Eu увеличивается против ожидаемого (на графике нормированных по хондриту содержаний РЗЭ для валовых составов возникает положительная Eu-аномалия), во втором случае уменьшается (отрицательная Eu-аномалия).

Интересные в этом отношении новые данные получены для двух известных групп габбро Платиноносного пояса Урала: габбро-норитов и так называемых серебрянских габбро [Ефимов, Ефимова, 1967].

К первой относятся исходно ортомагматические лабрадоровые двупироксеновые габбро со структурой от резко выраженной офитовой до порфирокластической и гранобластовой, лишенные полосатых и такситовых текстур, химически близкие к глиноземистым толеитам островных дуг и в разной степени обогащенные K_2O . Разности с достаточно большим со-

держанием последнего содержат первичный ортоклаз; при начальном метаморфизме в них наблюдается реакция: ортопироксен + ортоклаз + $H_2O >$ биотит + кварц, приводящая к появлению биотита с содержанием TiO_2 4-5%. В ходе метаморфизма, сопровождающегося деформацией, содержание K_2O необратимо уменьшается, исчезают ортоклаз и биотит, породы теряют офитовую структуру. Имеющиеся данные позволяют считать, что именно ортоклазсодержащие габбро-нориты являются протолитом всей габбро-норитовой общности Платиноносного пояса [Ефимов, 1999].

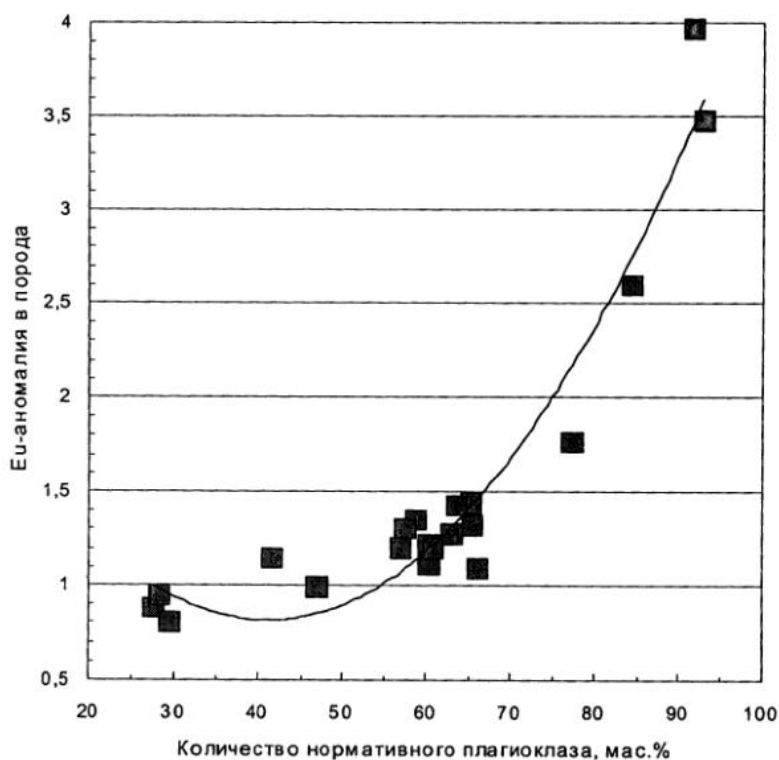
Ко второй группе относятся породы совершенно иного типа – гранобластовые анортит-клинопироксен-роговообманковые «габбро» (в строгом фациальном смысле – габбро-подобные амфиболиты), такситовые и нередко полосатые, являющиеся продуктом водного метаморфизма габбро-норитов. Метаморфические преобразования последних сопровождались химическими изменениями с тенденцией базификации: имел место вынос Si и щелочей и принос Ca, Mg и Fe [Ефимов, Ефимова, 1967].

Ранее было показано [Ефимов, Потапова, 2002], что все особенности распределения РЗЭ

в группе роговообманковых габбро обусловлены водным метаморфизмом, сопровождавшимся полной структурно-химической трансформацией исходных габбро-норитов и сменой парагенезисов. При этом имели место абсолютный вынос РЗЭ с понижением суммарных концентраций в 2-3 раза и радикальное изменение тренда фракционирования, демонстрирующего почти симметричное обеднение легкими и тяжелыми РЗЭ относительно средних (отношение La_N/Yb_N около 1,5) при наименьшем обеднении Eu и наличии хорошо выраженной положительной Eu-аномалии. Новые данные показывают, что последняя в серебрянских габбро совершенно отчетливо коррелирует с количеством плагиоклаза (рис. 1): она изменяется от слабой отрицательной (0,8) в наиболее меланократовых разностях, близких к горнблендитам, до высокой положительной (до 4,0) в анортозитах, то есть, по существу, в чистом плагиоклазе. Все промежуточные случаи почти идеально аппроксимируются полиномиальным трендом с очень высоким (0,966) коэффициентом корреляции. Нелинейный характер тренда объясняется тем, что, во-первых, количество нормативного плагиоклаза, строго соответствующее в безводных

габбро модальному, в данном случае больше модального (часть нормативного плагиоклаза входит в роговую обманку), и чем меньше плагиоклаза содержат породы, тем больше расхождение между нормативным и модальным количеством плагиоклаза. Во-вторых, не весь Eu находится в плагиоклазе – какая-то его часть входит в роговую обманку вместе с другими РЗЭ. Можно предсказать, что чистый плагиоклаз во всех разностях, независимо от его количества, будет обладать Eu-аномалией на уровне, близком к 4,0.

Поведение Eu в данном случае абсолютно подобно поведению Sr, еще более тесно связанного с плагиоклазом [Ефимов и др., 1989]. Характерно, что при резком обеднении другими РЗЭ исходная, свойственная габбро-норитам, концентрация Eu уменьшается довольно слабо, то есть новообразованные породы в основном наследуют этот элемент от протолита. Причина, по-видимому, в том, что Eu удерживался плагиоклазовой фазой, неизменно присутствовавшей в ходе всех реакций. Предсказываемое постоянство Eu-аномалии, а, следовательно, и постоянство концентраций других РЗЭ, в том числе и Eu, в плагиоклазе всех членов серебрянской серии (имеющем к тому же, как доказано, постоянный состав – An_{90}) имеет глубокий термодинамический смысл. Оно указывает на *вполне подвижное* (в известном определении Д.С.Коржинского) поведение этого элемента, иными словами, на то, что содержание Eu в плагиоклазе определялось не его содержанием в данной конкретной точке, а постоянством его *химического потенциала* в резервуаре огромного объема, в котором происходило



в полной мере, в котором происходило

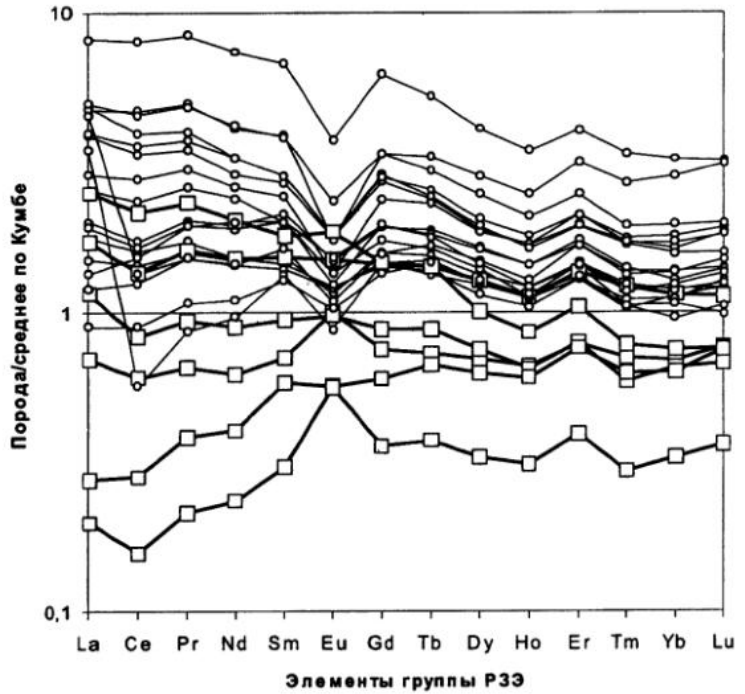
Рис. 1. Связь Eu-аномалии в серии серебрянских анортит-клинопироксен-роговообманковых «габбро» (габброподобных амфиболитов) с количеством плагиоклаза (анортита) в породах.

Рис. 2. Нормированные по среднему габбро-нориту Кумбы графики РЗЭ для габбро-норитов из разных массивов Платиноносного пояса Урала.

Тонкими и жирными линиями выделены соответственно габбро-нориты с отрицательной и положительной (относительно условного эталона) Eu-аномалией.

образование серии. Все это абсолютно несовместимо с любыми магматическими моделями генезиса роговообманковых габбро.

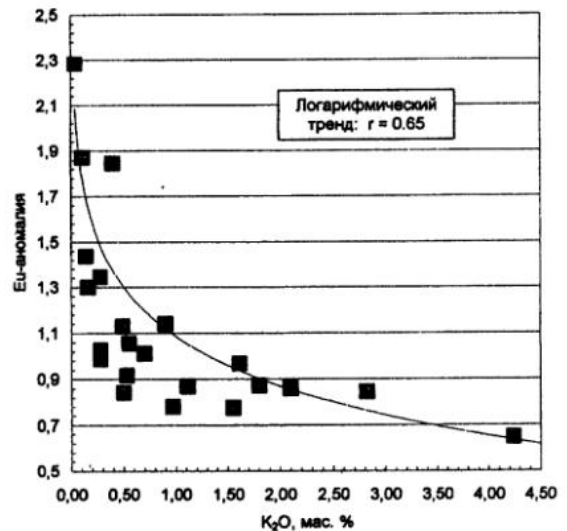
В группе габбро-норитов наблюдается широкий диапазон Eu-аномалий. На рис. 2, где изображены графики РЗЭ для этих пород, нормированные не по хондриту, а по довольно условному эталону – среднему ортоклазсодержащему габбро-нориту Кумбинского массива, наиболее близкому, по мнению авторов, к магматическому протолиту группы [Ефимов, Потапова, 2002], отчетливо видно, что крайние члены группы отклоняются от эталона по концентрациям РЗЭ – до ± 10 раз для легких РЗЭ и меньше для тяжелых. Наименьшие отклонения свойственны опять же Eu, при положительных отклонениях суммы РЗЭ дающего отрицательную, а при отрицательных, напротив, положительную аномалию. Поскольку габбро-нориты, в отличие от всех других габбро, имеют довольно узкие пределы изменения общего химизма, Eu-аномалии никак не связаны с количеством полевых шпатов. Однако интересно, что они обнаруживают очень хорошую связь с концентрациями K_2O (рис. 3). Здесь Eu-аномалия, вычисленная из концентраций, нормализованных по хондриту, изменяется от отрицательной (0,6) в наиболее обогащенных ка-



лием (до 4 мас.% K_2O) разностях до резко положительной (2,3) в практически бескальциевых разностях. Статистическая зависимость этих двух величин, прямой причинной связи между которыми не может быть, аппроксимируется логарифмическим трендом с достаточно высоким коэффициентом корреляции (0,65). Диапазон Eu-аномалии довольно близок к таковому серебрянских габбро, но вызван, по-видимому, другими причинами.

Содержание K_2O в габбро-норитах есть в некотором смысле мера степени химического

Рис. 3. Статистическая обратная корреляция содержаний K_2O и Eu-аномалии, вычисленной из нормализованных по хондриту значений, для габбро-норитов из разных массивов Платиноносного пояса Урала.



изменения этих пород при динамометаморфизме гранулитовой ступени низкого давления, который они претерпели до начала водного метаморфизма, давшего роговообманковые габбро [Ефимов, 1999]. Об этом можно судить хотя бы по тому, что ортоклаз содержится только в офиитовых разностях, близких по структуре к габбро-диабазам, а гранобластовые габбро-нориты бедны или крайне бедны K_2O и, как правило, не содержат даже биотита. Содержание K_2O , таким образом, может быть более точным индикатором химической эволюции габбро-норитов в этом процессе, чем только структуры (хотя точка отсчета, конечно, недостаточно ясна – возможно, что протолигу габбро-норитов были свойственны изначальные флуктуации K_2O – в области во всяком случае от 1 до 3 мас.%). Величина положительной Eu-аномалии может являться таким же индикатором; протолит габбро-норитов имел, таким образом, отрицательную или очень малую положительную Eu-аномалию.

В обоих описанных случаях изменение величины Eu-аномалии не имеет отношения к магматическому процессу и объясняется химической эволюцией пород, связанной с метаморфизмом двух различных типов. В режимах метаморфизма имели место коренные различия: гранулитовый метаморфизм происходил в условиях сжатия, пластического течения и в прак-

тически «сухих» условиях, водный (амфиболитовый) – в статических условиях или в обстановке растяжения, при избытке водного флюида. В первом случае химические потенциалы компонентов не могли выравняться в такой степени, как во втором, поэтому преобладало мозаичное равновесие. Отсюда – хаотическое пространственное распределение Eu-аномалии в габбро-норитах и исключительно регулярное, постоянное на огромных площадях, – в роговообманковых габбро, возникших в гигантских эквипотенциальных резервуарах водного метаморфизма.

Список литературы

Ефимов А.А. Платиноносный пояс Урала: тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах // Отечественная геология. 1999. № 3. С. 31-39.

Ефимов А.А., Ефимова Л.П. Кытлымский платиноносный массив, М., Недра, 1967, 336 с.

Ефимов А.А., Ефимова Л.П., Маегов В.И. Стронций в плагиоклазе уральских габбро: петрогенетический и прикладной аспекты // Геохимия. 1989. № 11. С. 1541-1553.

Ефимов А.А., Потапова Т.А. О поведении редкоземельных и других следовых элементов при метаморфизме габбро-норитов Платиноносного пояса Урала // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2002. С. 228-232.